

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004年4月1日 (01.04.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/027512 A1

(51) 国際特許分類⁷: G02F 1/377

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/011881

(22) 国際出願日: 2003年9月18日 (18.09.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2002-276000 2002年9月20日 (20.09.2002) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人物質・材料研究機構 (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE) [JP/JP]; 〒305-0044 茨城県つくば市千現一丁目2番1号 Ibaraki (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 栗村直 (KURIMURA,Sunao) [JP/JP]; 〒305-0044 茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 原田昌樹 (HARADA,Masaki) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

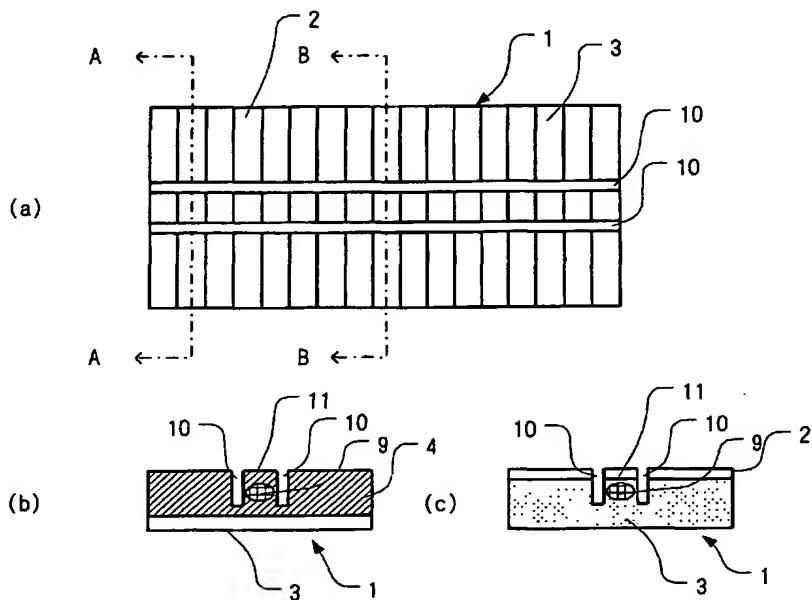
(74) 代理人: 細江利昭 (HOSOE,Toshiaki); 〒221-0822 神奈川県横浜市神奈川区西神奈川一丁目3番6号 コーポフジ605 Kanagawa (JP).

(81) 指定国(国内): US.

[続葉有]

(54) Title: WAVELENGTH CONVERSION ELEMENT

(54) 発明の名称: 波長変換素子



(57) Abstract: Two grooves (10) are dice-cut along a light passing direction in a crystal dummy phase matching element (1) to thereby form a protrusion (11), held between the two grooves (10), on the upper surface side in Figures as shown in Figs. 4 (b), (c); and a ridge type waveguide (9) is formed within the protrusion. When light is allowed to pass through the waveguide (9), the light passes through a crystal axis reversal portion (polarization reversal region) (4) while being confined in the waveguide (9) to undergo wavelength conversion. A light energy can be kept high within a wavelength conversion element to ensure a high wavelength conversion efficiency.

(57) 要約: 水晶の擬似位相整合素子1の、光の通過方向に沿って、2本の溝10を平行にダイシング加工する。すると、(b)、(c)に示すように、

[続葉有]

WO 2004/027512 A1



(84) 指定国(広域): ヨーロッパ特許(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR). 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:
— 國際調査報告書

図における上面側に2本の溝10で挟まれた凸部11が形成され、その中にリッジ型導波路9が形成される。よって、このリッジ型導波路9に光を通すことにより、光はリッジ型導波路9に閉じ込められた状態で、結晶軸反転部分(分極反転領域)4を通過し、波長変換が行われる。よって、波長変換素子内での光のエネルギーが高い状態とすることができ、高い波長変換効率を得ることができる。

明細書

波長変換素子

技術分野

本発明は、擬似位相整合技術を使用して、入射光と異なる波長を出力するために用いられる波長変換素子に関するものである。

5

背景技術

特に光通信の分野においては、物質と光の高次の相互作用により、入射光とは異なった波長の光を得る波長変換技術が注目されている。このような波長変換技術において、変換後の光を材料内部から外部に効率よく取り出す方法として、

①結晶材料の複屈折を利用し、特定の角度に光を伝播させることによって変換前後の波長の位相整合をとる方法

と、

②周期分極反転領域を光の伝播経路上に形成して、変換前後の波長の位相の差を擬似的に無くす擬似位相整合と呼ばれる方法
がある。

このうち、後者の擬似位相整合は、動作波長や入射角度の許容幅が広く、また波長変換前後の光が異なる方向に出射されるウォークオフと呼ばれる現象が生じないなど、実用化に際して多くの利点を持つと考えられ、期待が集まっている。

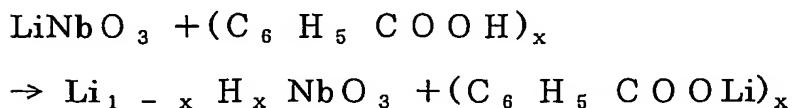
擬似位相整合技術を利用した波長変換素子における分極反転領域の形成は、例えば、基板材料としてニオブ酸リチウム等の強誘電材料を用い、光リソグラフィー技術を用いて分極反転を行いたい領域に電極をパター

ニングし、当該電極に高い直流電圧を印加して、部分的に電界による結晶軸の反転を行うことによって実現されている。

このような、強誘電体材料に電圧を印加して分極反転領域を形成する方法とは別に、強誘電体材料ではない水晶を基板に使用し、応力印加によって分極反転領域を形成する波長変換素子が近年提案された
5 (S.Kurimura, R.Batchko, J.Mansell, R.Route, M.Fejer, and R.Byer : 1998 年春応用物理学会予稿 28a-SG-18)。

水晶を基板材料として用いるこの波長変換素子は、強誘電体を基板とするものに比べて 100 倍以上の光耐性を示す。また、透明である下限の
10 波長もニオブ酸リチウムが 400nm であるのに比べ、150nm 付近であるため、従来使用ができなかった波長の光、特に ArF エキシマレーザと同等の波長約 193nm の光でも使用することができるという利点がある。

ところで波長変換技術は、高次の光と物質の相互作用に基づいており、高い変換効率を得るためにには、波長変換素子内の光のエネルギー密度
15 が高いことが望ましい。強誘電体であるニオブ酸リチウムを波長変換材料として用いる場合、高いエネルギー密度の光を使用する方法として広く行なわれている方法は、基板中の一部のリチウムを、高温の溶融安息香酸中で以下のようにプロトンに置換して屈折率を高める、プロトン交換法と呼ばれる方法である。これは、プロトン交換法によって基板中に
20 屈折率の高い部分を設け、その部分に導波路を形成してそこに光を閉じ込める方法である。



具体的には、電界印加によって分極反転領域を形成したあと、光導波路を形成したい領域を残して、基板表面にアルミニウム薄膜を形成する。
25 アルミニウム薄膜の形成は、一般的なリフトオフプロセスを用いて行う。

アルミニウムにてマスクしたあと、350°Cから400°Cに加熱した安息香酸中に基板を浸漬して所定の時間放置し、プロトン交換プロセスを進める。プロトン交換後、アルミニウムをエッチングにて除去する。プロトン交換された領域は周囲より屈折率が高くなり、光が閉じ込められて伝播する光導波路となる。このようにして周期的分極反転領域内に光を閉じ込めて伝播することができ、高い変換効率を得ることができる。

しかしながら、水晶を用いた擬似位相整合素子では、上記のようなプロトン交換プロセスを使用して導波路を形成することができず、光の閉じ込めが十分でないため高い変換効率が得られないという問題があった。

本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、水晶を用いた擬似位相整合素子においても、光が閉じこめられる導波路が形成され、高い波長変換効率を得ることができるとする波長変換素子を提供することを目的とする。

15 発明の開示

前記目的を達成するための第1の発明は、水晶基板中に複数の分極反転領域が周期的に形成され、前記水晶基板の一端から入射した光を、前記複数の分極反転領域中を通過させることによって波長変換を行う波長変換素子であって、光の通過方向に、前記複数の分極反転領域を貫くよう

うに高屈折領域が形成されていることを特徴とする波長変換素子である。

本発明においては、光の通過方向に、複数の分極反転領域を貫くよう

に高屈折領域が形成されているので、この高屈折領域に光を導入することにより、高屈折領域に光を閉じこめた状態で、分極反転領域を伝搬させることができ。よって、高い光変換効率の波長変換素子とすることができる。

前記目的を達成するための第2の発明は、前記第1の発明であって、

前記高屈折領域が、その周囲をイオンインプランテーションにより低屈折領域にすることにより形成されたものであることを特徴とするものである。

高屈折領域としたい領域の周囲を、イオンインプランテーションを行うことで低屈折率とすることにより、その部分の屈折率を相対的に高めることができる。本発明とリソグラフィ技術を組み合わせることにより、微細な高屈折領域を形成し、その中に光を閉じ込めながら伝搬させることができる。

前記目的を達成するための第3の発明は、前記第1の発明であって、
10 前記高屈折領域が、リッジ型導波路によって形成されたものであることを特徴とするものである。

リッジ型導波路とは、低屈折率部に突出した高屈折部を設けることにより、突出した高屈折部を光の導波路として使用するものである。本発明においても、突出した高屈折部に光を閉じ込めた状態で光を伝搬させ
15 ことができる。また、前記第2の発明と異なり、分極反転領域にイオンの打ち込みが行われないようにすることが可能であるので、このような場合には、分極反転領域の特性を変化させる懼れがない。

前記目的を達成するための第4の発明は、前記第3の発明であって、
前記リッジ型導波路が、選択的反応性イオンエッチングで形成されたも
20 のであることを特徴とするものである。

選択反応性イオンエッチングにより水晶基板をエッチングすることにより、リッジ型導波路を形成することができる。本発明をリソグラフィプロセスと組み合わせて使用すれば、微細なリッジ型導波路を形成することができる。

25 前記目的を達成するための第5の発明は、前記第3の発明であって、
前記リッジ型導波路が、機械加工により形成されたものであることを特

徵とするものである。

ダイシング加工等の機械加工によつても、水晶基板にリッジ型導波路を形成することができる。本発明においては、比較的簡単なプロセスによってリッジ型導波路を形成することが可能となる。

5

図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施の形態の例である波長変換素子の素材となる、水晶を用いた擬似位相整合素子の概略構成を示す図である。

図2は、図1に示した水晶の擬似位相整合素子を基として、イオンインプランテーションにより、本発明の実施の形態の1例である波長変換素子を製造するプロセスを示す図である。左側の図は、図1におけるA-A断面、右側の図は、図1におけるB-B断面を示す。

図3は、図1に示した水晶の擬似位相整合素子を基として、選択的反応性イオンエッティングによりリッジ型導波路を構成し、本発明の実施の形態の1例である波長変換素子を製造するプロセスを示す図である。左側の図は、図1におけるA-A断面、右側の図は、図1におけるB-B断面を示す。

図4は、図1に示した水晶の擬似位相整合素子を基として、ダイシング加工によりリッジ型導波路を構成した、本発明の実施の形態の1例である波長変換素子を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態の例を、図を用いて説明する。図1は、本発明の実施の形態の例である波長変換素子の素材となる、水晶を用いた擬似位相整合素子の概略構成を示す図であり、(a)は平面図、(b)は(a)におけるA-A断面図、(c)は(a)におけるB-B断面図であ

る。

擬似位相整合素子 1 には、その片側表面に周期的に凸部 2 が設けられている。水晶を用いた擬似位相整合素子 1 は、ホットプレス法により形成される。すなわち、図 1 に示すような、片面に周期的な凸部 2 を有するその水晶基板を上下方向からヒーターブロックで挟み込み、水晶基板の温度を昇温して所望の温度に到達した時点で、圧力を印加する。このとき、凸部 2 にあたる部分にのみ応力が作用するので、この部分でのみ結晶軸成分が反転する。この結晶軸反転部分が結晶内部まで成長して結晶内部まで伝播し、基板本体部 3 の深さ方向に大きく入り込む。結晶軸反転部分（分極反転領域）を図では符号 4 で示している。このようにして、基板本体部 3 内に周期的な双晶の格子を作製することができる。

以下、このような水晶の擬似位相整合素子 1 を基として、イオンインプランテーションにより、本発明の実施の形態の 1 例である波長変換素子を製造するプロセスについて図 2 を用いて説明する。図 2 は、図 1(a) における A-A 断面図と B-B 断面図を示す。なお、以下の図面においては、前出の図面に示された構成要素と同じ構成要素には、同じ符号を付して、その説明を省略することがある。

図 2 において、(a) は、水晶の擬似位相整合素子 1 を示す図である。この擬似位相整合素子 1 の表面に、凸部 2 が覆われるような厚さのポジ型のレジスト層 5 を形成する (b)。そして、リソグラフィにより、擬似位相整合素子 1 の B-B 断面の中心部を残して、レジストを露光し、レジストを現像することにより、中央部にレジスト 5 が残った部分を形成する (c)。

次に、レジスト 5 をマスクとして、擬似位相整合素子 1 表面に He イオンを打ち込む。それにより、レジスト 5 の無い部分に低屈折率領域 6 a が形成される (d)。

その後、レジスト層 5 を除去し、(d) の工程とは異なるエネルギーを有する He イオンを打ち込む。すなわち、このとき打ち込む He イオンのエネルギーを高くし、基板の表面に近い部分では留まらず、ある程度の深さにおいて留まるようにする。すると、所定の深さのところに新たに低屈折率領域 6 b が形成される。(e)。

この状態で、(d)においてレジスト 5 の直下にあった深さの浅い部分には、低屈折領域が形成されないので、この部分が周囲より相対的に屈折率が高い高屈折領域 7 となる。これにより、本発明の実施の形態の 1 例である波長変換素子が完成する。

この波長変換素子においては、複数の結晶軸反転部分（分極反転領域）4 を貫くように高屈折領域 7 が形成されている。よって、この高屈折率領域 7 に光を通すことにより、光は高屈折領域 7 に閉じ込められた状態で、結晶軸反転部分（分極反転領域）4 を通過し、波長変換が行われる。よって、波長変換素子内での光のエネルギーが高い状態とすることができ、高い波長変換効率を得ることができる。

以下、図 1 に示すような水晶の擬似位相整合素子 1 を基として、選択的反応性イオンエッチングによりリッジ型導波路を構成し、本発明の実施の形態の 1 例である波長変換素子を製造するプロセスについて図 3 を用いて説明する。図 3 は、図 1 (a) における A-A 断面図と B-B 断面図を示す。

図 3において、(a) は、水晶の擬似位相整合素子 1 を示す図である。この擬似位相整合素子 1 の表面に、凸部 2 が覆われるような厚さのネガ型のレジスト層 5 を形成する (b)。そして、リソグラフィにより、擬似位相整合素子 1 の B-B 断面の中心部を、図 1 の左右方向に亘って所定幅で露光し、レジストを現像することにより、露光部分を残してレジストを除去する (c)。

次に、レジストをマスクとして、擬似位相整合素子 1 表面に C F 4 + H 2 系のガスを打ち込む。それにより、基板の表面をエッティングすると、レジストに覆われている部分が残って凸部 8 が形成される(d)。その後、レジスト層 5 を除去することにより、本発明の実施の形態の 1 例である 5 波長変換素子が完成する(e)。

凸部 8 は、複数の結晶軸反転部分（分極反転領域）4 を貫くように形成され、その下の部分にリッジ型導波路 9 が形成される。よって、このリッジ型導波路 9 に光を通すことにより、光はリッジ型導波路 9 に閉じ込められた状態で、結晶軸反転部分（分極反転領域）4 を通過し、波長 10 変換が行われる。よって、波長変換素子内での光のエネルギーが高い状態とすることができます、高い波長変換効率を得ることができます。

以下、図 1 に示すような水晶の擬似位相整合素子 1 を基として、ダイシング加工によりリッジ型導波路を構成した、本発明の実施の形態の 1 例である波長変換素子について、図 4 を用いて説明する。図 4において、 15 (a) は平面図、(b) は (a) における A-A 断面図、(c) は (a) における B-B 断面図である。

図 1 に示すような水晶の擬似位相整合素子 1 に、ダイシング加工により溝を加工し、図 4 に示すような波長変換素子を形成する。すなわち、光の通過方向に沿って、2 本の溝 10 を平行にダイシング加工する。す 20 ると、図 4 の (b)、(c) に示すように、図における上面側に 2 本の溝 10 で挟まれた凸部 11 が形成され、その中にリッジ型導波路 9 が形成される。よって、このリッジ型導波路 9 に光を通すことにより、光はリッジ型導波路 9 に閉じ込められた状態で、結晶軸反転部分（分極反転領域）4 を通過し、波長変換が行われる。よって、波長変換素子内での光 25 の強度が高い状態とすることができます、高い波長変換効率を得ることができます。

この方法は、機械加工によりリッジ型導波路9を形成するものであるので、工程が簡単であると共に、イオン打ち込み等を行わないので、結晶軸反転部分（分極反転領域）4の性質を変えることが無いという特徴を有する。

5 なお、図3、図4においては、リッジ型導波路9を構成するための低屈折率物質は空気となっているが、例えば、図3、図4に示されるような波長変換素子の上面を、水晶より低屈折率の物質で覆うようにしてもよい。

請 求 の 範 囲

1. 水晶基板中に複数の分極反転領域が周期的に形成され、前記水晶基板の一端から入射した光を、前記複数の分極反転領域中を通過させることによって波長変換を行う波長変換素子であって、光の通過方向に、前記複数の分極反転領域を貫くように高屈折領域が形成されていることを特徴とする波長変換素子。
5
2. 前記高屈折領域が、その周囲をイオンインプランテーションにより低屈折領域にすることにより形成されたものであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の波長変換素子。
10
3. 前記高屈折領域が、リッジ型導波路によって形成されたものであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の波長変換素子。
4. 前記リッジ型導波路が、選択的反応性イオンエッチングで形成されたものであることを特徴とする請求の範囲第3項に記載の波長変換素
15 子。
5. 前記リッジ型導波路が、機械加工により形成されたものであることを特徴とする請求の範囲第3項に記載の波長変換素子。

1/4

図 1

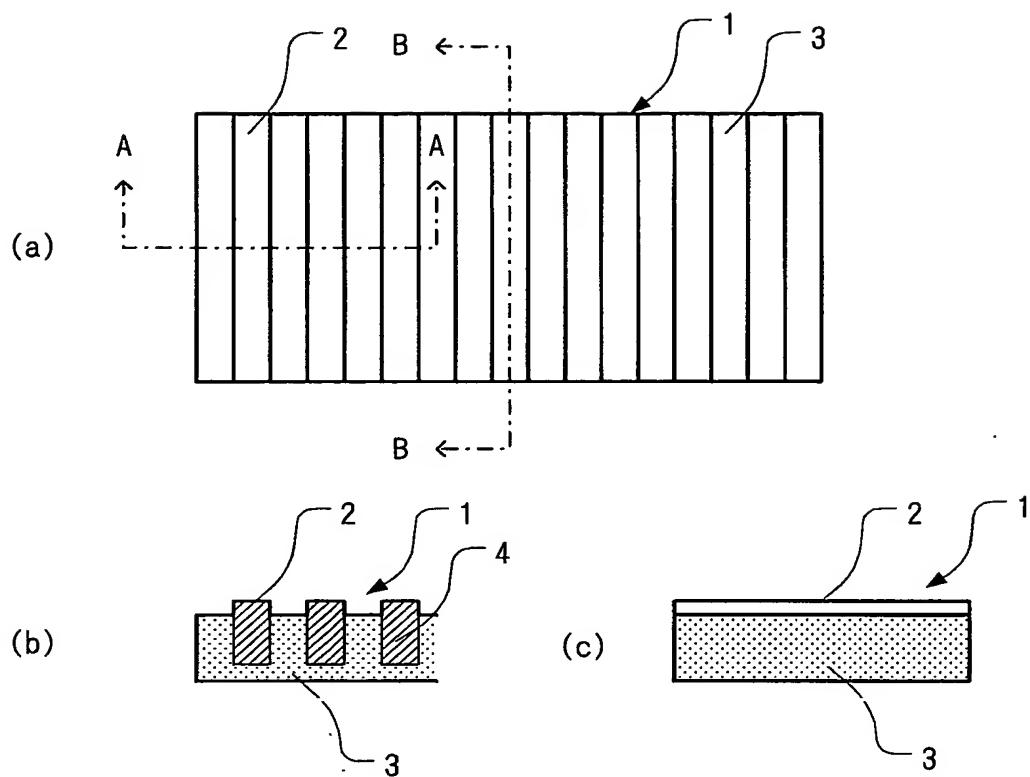


図 2

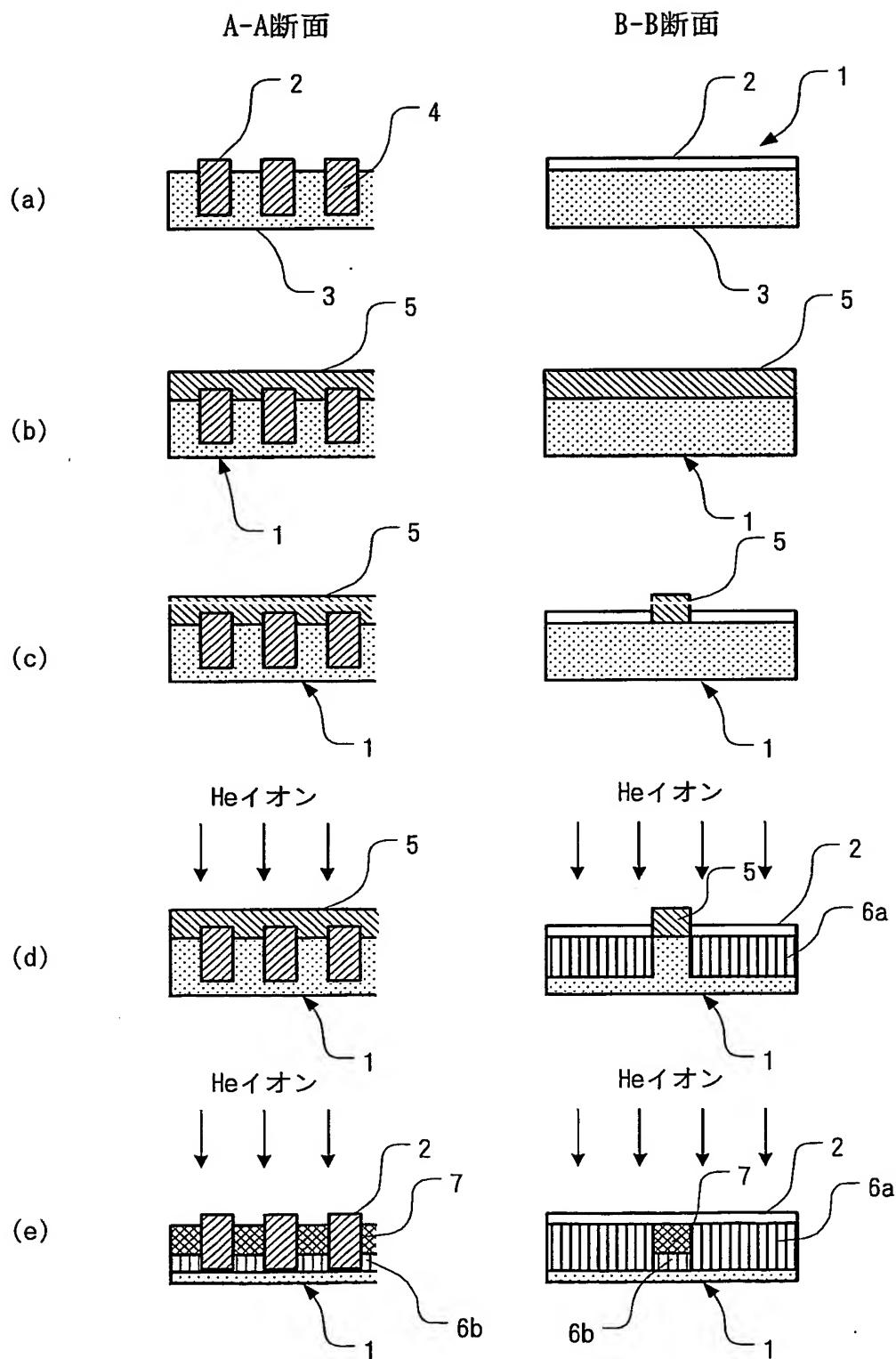


図 3

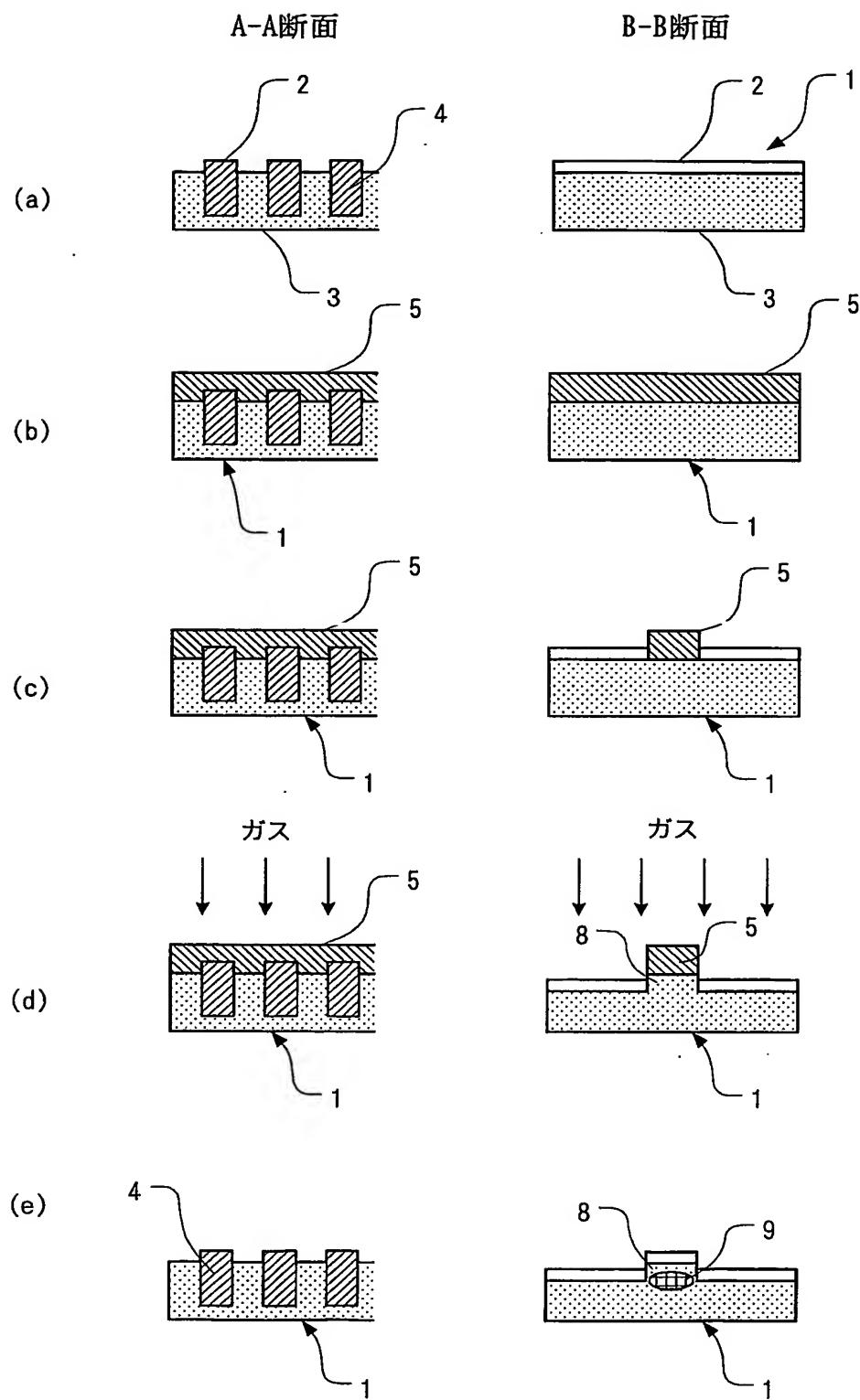
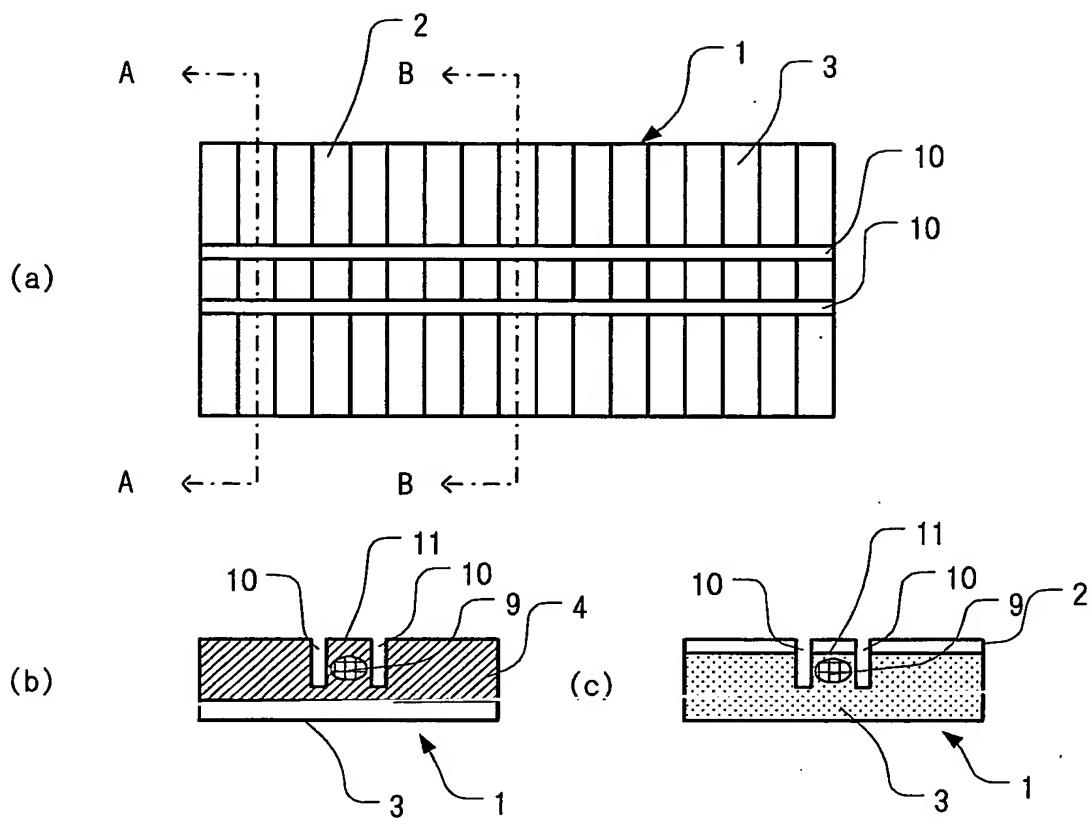


図 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11881

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02F1/377

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02F1/37

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST, INSPEC, USPTO, Web Patent Database

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-212128 A (Mitsubishi Materials Corp.), 06 August, 1999 (06.08.99), (Family: none)	1-5
Y	JP 2002-122898 A (Nikon Corp.), 26 April, 2002 (26.04.02), (Family: none)	1-5
Y	Tadashi KURIMURA et al., "Shigai Hacho Henkan o Mezashita Giji Iso Seigo Suisho", Oyo butsuri, Vol.69, No.5, 2000, pages 548 to 552	1-5
Y	JP 03-237437 A (Asahi Glass Co., Ltd.), 23 October, 1991 (23.10.91), (Family: none)	2

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	--

Date of the actual completion of the international search
14 November, 2003 (14.11.03)Date of mailing of the international search report
02 December, 2003 (02.12.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11881

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Babsail, L. et al., Second-harmonic generation in ion-implanted quartz planar waveguides, Appl. Phys. Lett., Vol. 59, No. 4, 22 July, 1991 (22.07.91), pages 384 to 386	2
Y	US 5382334 A (PIONEER ELECTRONIC CORP.), 17 January, 1995 (17.01.95), Column 6, lines 26 to 38 & JP 06-186603 A	3, 4, 5
Y	US 2001/0055453 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC Industrial Co., Ltd., NGK INSULATORS Ltd.), 27 December, 2001 (27.12.01), & JP 2002-250949 A	3, 5

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int. C17 G02F1/377

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int. C17 G02F1/37

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

JICST

INSPEC

USPTO Web Patent Database

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-212128 A(三菱マテリアル株式会社)1999.08.06 (ファミリーなし)	1-5
Y	JP 2002-122898 A(株式会社ニコン)2002.04.26(ファミリーなし)	1-5
Y	栗村 直他, 紫外波長変換をめざした擬似位相整合水晶, 応用物理, Vol. 69, No. 5, 2000, p. 548-552	1-5
Y	JP 03-237437 A(旭硝子株式会社)1991.10.23 (ファミリーなし)	2

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14.11.03

国際調査報告の発送日

02.12.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官(権限のある職員)

佐藤 宙子

2 X 9316



電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	Babsail, L. et al. Second-harmonic generation in ion-implanted quartz planar waveguides, Appl. Phys. Lett., Vol. 59, No. 4, 22 July 1991, p. 384-386	2
Y	US 5382334 A (PIONEER ELECTRONIC CORPORATION) 1995. 01. 17, 第6欄, 第26-38行, & JP 06-186603 A	3, 4, 5
Y	US 2001/0055453 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL Co. Ltd., NGK INSULATORS Ltd.) 2001. 12. 27 & JP 2002-250949 A	3, 5